

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПЛАЗМЕННО-МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

Науково-технічний прогрес обумовлює необхідність використання нових матеріалів з особливими властивостями. Ці матеріали зазвичай мають підвищені міцнісні характеристики, високу жароміцність і корозійну стійкість. Крім того, вони мають підвищену в'язкість, що утруднює їх механічну обробку. Такі сталі і сплави у більшості випадків отримують вакуумно-дуговим і електрошлаковим переплавом. При цьому з готового металу, в результаті переплавлення видаляються шкідливі домішки, структура металу до центру нового злитка покращується, а на поверхні його утворюється ливарна кірка (корона), що містить близько 70 % шкідливих домішок і має велику твердість ($HV 10^{-1} = 250 - 310$ МПа).

Механічна обробка таких злитків є вельми трумісткою і малоефективною з - за надзвичайно низької стійкості ріжучого інструменту. Відомо, що обробляти різанням нагрітий метал легше. Існують різні способи попереднього підігріву металу (індукційний, інфрачервоний, газополуменевими пальниками і т. п.). Досвід використання різних способів підігріву показав, що одним з перспективних способів, який має широкі можливості, є нагрів стиснутою дугою. Одним з найбільш продуктивних процесів термічного різання є плазмове різання стислою дугою. Завдяки високій температурі стислої дуги ($15000 - 20000$ °С) плазмове різання забезпечує отримання якісної продукції з усіх матеріалів, які використовуються у сучасній промисловості. Енергетичні, теплові і газодинамічні параметри стиснутої дуги (низькотемпературної плазми) порівняно легко регулюється в широких межах.

На відміну від газокисневого різання, при якому полум'я видаляє мало теплоти і має відносно низьку температуру, для врзання в метал потрібно затратити якийсь час на місцеве підігрівання металу до температури його плавлення. Стисла дуга внаслідок високої температури і швидкості потоку плазми врзається в метал майже миттєво. Однак поряд з перевагами цьому способу притаманні і недоліки: обмежена швидкість різання, низька стійкість катоду, обмежена товщина металу, що зрізають. Слід зазначити, що граничну товщину металу визначити точно практично неможливо, так як вона залежить від технології і вимог до якості. Крім того при плазмовому різанні поверхня різку зазнає у ливарній дільниці структурні перетворювання, змінювання твердості, утворювання дефектів форми кромки. Чисту поверхню різку можливо отримати тільки механічною обробкою.

Тому раціональним є механічна обробка з плазмовим підігрівом (ПМО). Поліпшення обробки забезпечується в основному за рахунок розміцнення поверхні перед різцем стислою дугою, що генерується плазмотроном. Для матеріа-

лів, що важко оброблюються, розміщення починається з температури 700 °С. При температурі підігріву 800 – 850 °С межа міцності знижується майже в два рази. Завдяки цьому вдається підвищити продуктивність чорнової обробки точінням жароміцних сплавів за рахунок збільшення перерізу матеріалу, який зрізують. Розміщення здійснюється в результаті теплового впливу стислої дуги на поверхню різання. Крім того, розміщенню сприяє тиск стислої дуги шляхом утворення канавки на поверхні різання. Поява канавок в свою чергу сприяє інтенсифікації введення теплової енергії у деталь, що оброблюють, за рахунок поглиблення дуги. Комплексний вплив дозволяє збільшити нагрів металу, знизити його міцність і збільшити продуктивність обробки. ПМО деталей з циліндричною поверхнею здійснюється різцями на токарних верстатах різних модифікацій. На станині верстата (або автономно) монтується маніпулятор плазмотрону. З його допомогою плазмотрон можна встановлювати на будь-якій відстані від різця і деталі і під любым кутом як до напрямку обертання деталі, так і до напрямку подачі різця. Струмopідвод здійснюється за допомогою щіток, крізь яку один з полюсів джерела живлення стислої дуги підключається до виробу, який оброблюють. Інший полюс джерела підключається безпосередньо до електроду плазмотрону. Для захисту від світлового та ультрафіолетового випромінювання стислої дуги установка забезпечується пристроєм, який закріплено на задньому супорті верстата.

Розташування плазмотрону щодо деталі, яку оброблюють, і режими різання істотно впливають на продуктивність процесу і стійкість інструменту. Режим обробки встановлюється поступово: спочатку вмикається механізм обертання деталі і здійснюється нагрів по поверхні різання теплотою стислої дуги (за 3 – 4 обороти на малій швидкості обертання). Потім вмикається подача різця (декілька нижче робочої), поступово збільшується частота обертання і встановлюється остаточна робоча подача різця.

В результаті цих маніпуляцій стисла дуга через анодну пляму нагріву d передає теплову енергію заготівлі. За рахунок теплопроводності металу тепла енергія передається шарам металу, що лежать нижче, і він прогрівається на певну глибину. При цьому поверхня заготівки нагрівається до температурні плавлення. Задана глибина прогріву досягається оптимальною температурою підігріву. Через визначений проміжок часу, після прогріву достатнього об'єму зрізаємого металу, різець починає знімати стружку до заданих розмірів.

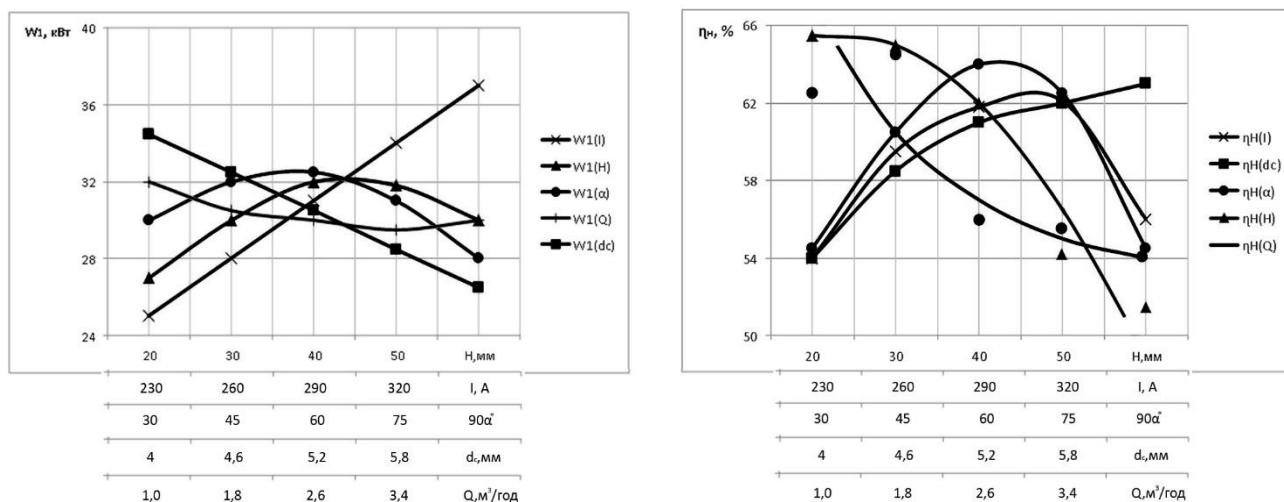
Як ріжучий інструмент використовуються різці збірної конструкції: різець - вкладиш і оправлення. Оправлення закріплюється в різцеутримувачі верстата, а різець - вкладиш - в оправці на клині типу «ластівчин хвіст». Залежно від марки матеріалу, який оброблюють, використовуються різці - вкладиші з пластинами твердого сплаву типу ВК-8 або Т5КЮ. Зменшення зусилля різання і збільшення глибини зрізу при ПМО досягається зниженням межі плинності і створенням нерівномірних термічних напружень металу при нагріванні (перевага того чи іншого чинника залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу). У зв'язку з цим необхідно так розігрівати метал (в місці різі), щоб охопити напругою всю його площу.

Можливість сучасного плазмового обладнання (частіше всього використовуються плазмотрони, які використовуються для розділового різання) часто не дозволяють більш рівномірно розподілити дугу по поверхні нагріву, так як розмір анодної плями обмежується 4-6 мм. Утворюються канавки глибиною 1,2 – 1,5 мм, що призводить до перегріву металу заготовки та утворення двох стружок, що вимагає збільшення швидкості різання при деякому зниженні глибини різання і в кінцевому рахунку зменшує продуктивність ПМО.

У зв'язку з вищесказаним виникає проблема створення плазмотрону, що забезпечує отримання діаметра анодної плями, рівного 15 – 20 мм. Досвід промислового використання процесу ПМО і дослідження механізму явищ, що відбуваються в матеріалі при сумісному і узгодженому впливі на нього потоку плазми і різця, дозволив сформулювати вимоги до спеціального обладнання для ПМО. Ці вимоги залежать як від параметрів плазмотрону, так і режимів механічної обробки. Параметрами режиму ПМО є: потужність стислої дуги, що генерується плазмотроном; відстань від торця сопла до поверхні нагрівання; кут нахилу плазмотрона відносно поверхні заготовки; відстань від осі дуги (плазмотрона) до ріжучого інструмента; раціональна температура різання; оптимальна температура підігріву; швидкість різання; час підігріву; величина подачі ріжучого інструмента у напрямку шару, який зрізують, та ін. Тепловий і механічний вплив стислої дуги виражається в нагріванні, розплавленні і видаленні частини розплавленого металу потоком плазми. В результаті на поверхні різання утворюється виплавлена канавка. Інтенсивність вказаних процесів обумовлюється потужністю стислої дуги, яка пов'язана з повної потужністю джерела живлення відношенням $\eta_n IU$, де η_n – ефективний ККД нагріву, I – струм дуги, U – напруга дуги. Ефективна теплова потужність при ПМО витрачається на нагрів повітря, що видалається стислою дугою металу канавки і безпосередньо на розігрів виробу перед різцем. Тому об'єм розплавленого металу, профіль канавки, її перетин визначаються розподілом ефективної теплової потужності стислої дуги, яка в свою чергу залежить від сили струму I , витрат плазмоутворюючого повітря $Q_{пл}$, діаметра каналу сопла плазмотрона d_c , відстані між торцем сопла і поверхнею деталі(анода) H , кута між віссю каналу сопла і поверхнею анода α , швидкості переміщення стислої дуги та інших параметрів. Деякі залежності ефективної теплової потужності W_1 та ефективного ККД стислої дуги, які генеруються плазмотроном ПВР-402, представлені на рис. 1.

З графіків залежності W_1 і η_n від струму слідує, що тепловкладення в деталь безперервно ростуть, а ефективний ККД має максимальне значення при струмі 320 А. Це обумовлене тим, що більша частина теплової енергії дуги не поступає в нагрітий метал, а йде на утворення канавки. Максимальний струм повинен обмежуватися 400 А з метою забезпечення нормальної роботи гафнієвих електродів. Напруга холостого ходу джерела живлення стислої дуги має бути 120 В для забезпечення стабільного збудження дуги при відстані від торця сопла до поверхні, що нагрівається, 50 – 60 мм. Чергова дуга повинна горіти постійно, щоб виключити можливість відриву дуги під час процесу різання. Необхідно забезпечити високу швидкість наростання струму основної дуги до

номінальної. Максимальне введення теплової енергії відмічається при $\alpha = 60^\circ$. Це дозволяє зробити висновок, що визначальну роль у передачі теплової енергії грає характер взаємодії потоку плазми з поверхнею анода. Так при кутах, близьких до 90° , більша частина потоку плазми відбивається від поверхні, не встигнувши віддати свою теплову енергію. Крім того, в цьому випадку площа поверхні, що сприймає тепло, має мінімальні розміри. При кутах, близьких до 60° , теплообмін збільшується за рахунок збільшення розмірів площі теплообміну. При кутах, близьких до 30° , частина потоку плазми взагалі не стикається з поверхнею теплообміну і тому W_1 та η_H мають мінімальні значення.



H – відстань між зрізом сопла плазмотрона і поверхнею анода, I – струм, α – кут між віссю каналу сопла і поверхнею анода, d_c – діаметр каналу сопла плазмотрона, Q – витрати плазмоутворюючого газу

Рисунок 1 – Залежність ефективних теплової потужності і ККД від параметрів роботи плазмотрона

Зростання η_H при застосуванні великих діаметрів каналу сопла вказує на збільшення ефективності використання теплової енергії дуги в результаті більш рівномірного розподілу її по поверхні теплообміну. З ростом витрат плазмоутворюючого газу зменшується W_1 та η_H . Це, мабуть, пояснюється зниженням температури стислої дуги внаслідок її охолодження великою кількістю газу. Ефективний ККД стислої дуги знижується зі збільшенням відстані від торця сопла до анода за рахунок втрат теплової енергії на випромінювання і конвекцію.

Оптимальним можна рекомендувати наступний режим підігріву: струм 250 – 350 А, витрата плазмоутворюючого повітря 1,0 – 2,5 м³/год., відстань від торця сопла до поверхні 35 – 50 мм, кут нахилу плазмотрона близько 60° , діаметр каналу сопла плазмотрона 4 – 5,8 мм.

Одним з найважливіших параметрів ПМО є температура початку різання (температура на глибині металу, що підлягає видаленню). Досягнення цієї температури залежить від прогріваемого металу, тривалості дії джерела нагрівання і його потужності, швидкості обертання заготовки і її діаметра, відстані від торця сопла до заготовки і відстані між плазмотроном і різцем. Наприклад, при ві-

дстані між плазмотроном і різцем 200 мм, відстані від торця сопла до заготовки 50 мм, діаметрі заготовки 300 – 600 мм, потужності дуги 20 – 40 кВт, швидкості обертання заготовки 4 – 15 м/хв для прогріву металу на глибину 0,4 – 3 мм до температури початку різання 500 – 1000 °С потрібен час від 5 до 20 хв. Широкий діапазон змінювання часу підігріву пояснюється тим, що при різних режимах підігріву зростання температури до 500 – 700 °С досягається протягом 5 – 6 хв. Надалі зростання температури сповільнюється. Нагрівання при плазмово-механічній обробці характеризується тим, що поверхневі шари металу, які нагріваються, знаходяться безпосередньо під дією стислої дуги досить короткий час. Потім починається різке охолодження поверхневих шарів, що приводить до змінювання їх структури і механічних властивостей. Стійкість різця збільшується при збільшенні струму стислої дуги і зменшенні швидкості різання, подачі різця і глибини різання.

Висновки.

Результати проведених досліджень підтвердили доцільність і ефективність суміщення плазмового підігріву з механічною обробкою різанням спеціальних сталей і сплавів. Встановлені параметри розташування плазмотрону, оптимальні режими плазмового нагріву і механічної обробки металу, які забезпечують високу якість різа при збільшенні у 8 – 10 разів швидкості різання і у 5 – 15 разів кількості металу, який зрізують.

Дерев'янченко О.Г., Євтіфеев С.Л., Римяк В.І.
Державний університет «Одеська політехніка», Одеса, Україна

ЕЛЕМЕНТИ ПІДХОДУ ДО ВИКОНАННЯ ФРАКТОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ ЗЛАМІВ ЗА ЇХ ЦИФРОВИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ

Серед множини методів, що використовуються у сучасному матеріалознавстві, важливе місце належить методам металографічного та фактографічного аналізу [1 – 3]. Фрактографічний аналіз забезпечує можливість діагностування причин руйнування деталей [3], зокрема – шляхом дослідження поверхонь зламів різноманітного типу.

На кафедрі МТМ ОНПУ в рамках учбового процесу використовується стенд, що забезпечує можливість реєстрації цифрових зображень поверхонь зламів деталей для подальшого їх аналізу. Його основою є комп'ютерний мікроскоп, створений шляхом модернізації мікроскопу МІМ–7, загальну структуру якого показано на рис. 1.

На рис. 1 виділено такі основні елементи:

1) зразок пошкодженої деталі внаслідок зламу, що встановлений на предметному столику металографічного мікроскопу модернізованого мікроскопу МІМ–7;